

69



⑮ **BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT**

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 198 15 362 A 1**

⑤ Int. Cl.⁸:
G 02 F 1/35
G 02 F 1/37
H 01 S 3/109
H 01 S 3/083

⑲ Aktenzeichen: 198 15 362.7
⑳ Anmeldetag: 30. 3. 98
㉑ Offenlegungstag: 14. 10. 99

DE 198 15 362 A 1

⑦① Anmelder:
LAS - Laser Analytical Systems GmbH, 14532
Stahnsdorf, DE

⑦④ Vertreter:
Patentanwälte Gulde Hengelhaupt Ziebig, 10785
Berlin

⑦② Erfinder:
Smádek, Bernhard, Dr., 12047 Berlin, DE; Müller,
Ralf, 10825 Berlin, DE; Gries, Wolfgang, 12159
Berlin, DE; Zanger, Eckhard, 12169 Berlin, DE

⑥⑥ Entgegenhaltungen:
DE 69 006 32 4T2
US 57 10 658
EP 04 68 933 A2
Appl. Phys. B., 61, 1995, S. 351-360;
Physical Review B, Vol. 54, No. 23, 15. Dez. 1996
S. 166618-16624;
Optics Communications Vol. 71, No. 3, 4,
15. Mai 1989, S. 229-234;
KOECHNER, W.: Solid-State Laser Engineering,
4. Aufl. Berlin u.a. Springer 1996, S. 562-585;
Optics Letters, Vol. 22, No. 4, 15.2.1997, S. 209-
221;
ABC der Optic, K. Mütze et. al. Hrsg.: Dausien
1961, S. 121-123;
Photorefractive Materials and Their
Applications I., P. Günter und J.P. Huignard,
Hrsg. Berlin u.a.: Springer 1988, S. 1-11 und
47-71;

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

- ⑥④ Verfahren zur Beeinflussung eines parasitären Ladungsträgergitters in optisch nichtlinearen Materialien bei der Frequenzkonversion von Laserstrahlung
- ⑥⑦ Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Beeinflussung des Aufbaues von Ladungsträgergittern (Photorefraktion) in optisch nichtlinearen Materialien, wie optisch nichtlinearen Kristallen, innerhalb von Frequenzverdopplungs- bzw. Frequenzvervielfachungstechniken von Laserstrahlung bzw. der gezielten Beeinflussung des für den Aufbau von Ladungsträgergittern verantwortlichen Prozesses. Ziel ist es, innerhalb von Frequenzkonversionstechniken für kohärente Laserstrahlung die Effizienz des Konversionsprozesses zu optimieren und Intensitätsschwankungen zu vermeiden. Die Erfindung nutzt zu diesem Zweck thermische, thermooptische, mikromechanische und elektrische Einflüsse auf die Entstehung der Ladungsträgergitter innerhalb der betreffenden Kristallstrukturen aus.

BEST AVAILABLE COPY

DE 198 15 362 A 1



Beschreibung

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Beeinflussung eines parasitären Ladungsgitterträgers in optisch nichtlinearen Materialien bei der Frequenzkonversion, insbesondere bei der Frequenzverdopplung von Laserstrahlung, gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Die Beschreibung bezieht sich im Folgenden auf einen Teilaspekt der bekannten Frequenzkonversionstechniken, die Frequenzverdopplung einer kohärenten Laserstrahlung innerhalb eines optisch nichtlinearen Materials bzw. Kristalls. Die Verallgemeinerungen auf Frequenzkonversionsprozesse höherer Ordnung können vorausgesetzt werden.

Wie es bekannt ist, skaliert die Effizienz der Frequenzverdopplung kohärenter Laserstrahlung mit dem Quadrat der Intensität der in das geeignete Material eingekoppelten Grundwellenstrahlung. Um die Konversionseffizienz für die jeweilige Laserart und -wellenlänge zu optimieren, wird mit Hilfe unterschiedlicher technischer Verfahren die in das geeignete optisch nichtlineare Material eingestrahlte Grundwellenintensität des Lasers erhöht. Im einfachsten Fall der Frequenzverdopplung von Laserstrahlung außerhalb eines Laserresonators wird eine Intensitätsüberhöhung dadurch erreicht, daß eine einfache Fokussierung in das Material, indem die optische Oberwelle der doppelten Frequenz erzeugt wird, durchgeführt wird.

Für die Frequenzverdopplung von kontinuierlicher Laserstrahlung mit einer spektralen Auflösung im Bereich von einigen MHz werden unter anderem externe passive Ringresonatoren verwendet, innerhalb derer die eingekoppelte Grundwellenintensität um einen Faktor von mehr als 100 intensitätsüberhöht werden kann. Diese so überhöhte Grundwellenintensität wird mit Hilfe eines an geeigneter Stelle im Ringresonator befindlichen Kristalls frequenzverdoppelt. In diesem Fall wird die gesamte im Kristall erzeugte Oberwelle doppelter Frequenz in Richtung der einlaufenden Grundwelle ausgekoppelt, wie es in der Fig. 1 dargestellt ist. Die Fig. 1 zeigt zur Verdeutlichung die Intensitätsüberhöhung der Grundwelle in einem unidirektionalen Ringresonator zur Verbesserung der Konversionseffizienz in dem nichtlinearen Kristall NK. Bei einer eingestrahlten Leistung von drei Watt zirkulieren im Ring > 300 Watt Laserleistung.

Aufgrund der quadratischen Skalierung des Konversionsprozesses wird die Effizienz des Prozesses jedoch durch Intensitätsverluste bezgl. der umlaufenden Grundwellenstrahlung stark beeinflusst, so daß Techniken zur Reduzierung dieser Verluste erheblich die Effizienz des Konversionsprozesses verbessern.

In hochtransmittierenden Medien ist ein wesentlicher Verlustmechanismus die Induzierung von Brechungsindexgittern, zum Teil auch absorptiven Gittern, die zur Beugung der Grundwelle in unerwünschte Richtungen führen und damit Laserleistung für den technisch erwünschten Frequenzkonversionsprozess entziehen. So wurde ein – später identifiziertes photorefraktives Ladungsträgergitter – erstmals als das Licht streuender "reversible optical damage" bezeichnet und bei der Frequenzverdopplung entdeckt [G. E. Peterson, A. A. Ballman, P. V. Lenzo, P. M. Bridenbaugh: Appl. Phys. Lett. 5, 62 (1964); A. Ashkin, G. D. Boyd, J. M. Dziedzic, R. G. Smith, A. A. Ballman, H. J. Levinstein, K. Nassau: Appl. Phys. Lett. 9, 72 (1966)].

Voraussetzung für die Entstehung dieser Gitter ist in einem ersten Teilschritt das Vorhandensein eines Interferenzfeldes der primären Strahlung. Dieses kann durch Überlagerung zweier kohärenter Strahlen im optisch nichtlinearen Material, insbesondere in einem Kristall künstlich erzeugt werden, eine als Zweiwellenmischung bezeichnete Anordnung.

Dieses Interferenzfeld kann aber auch durch nur einen Strahl, durch Streuung desselben im optisch nichtlinearen Material und nichtlineare Verstärkung entstehen.

Die nichtlineare Wechselwirkung wird im Bereich hoher Transmission eines optischen Mediums vornehmlich, jedoch nicht ausschließlich, durch den photorefraktiven Effekt [P. Günther, J.-P. Huignard, Photorefractive Materials and Their Applications I, II, Springer, Berlin-Heidelberg-New York, 1988], den photogalvanischen Effekt, den photoelastischen Effekt, oder den photochromen Effekt hervorgerufen. Diese Effekte können sowohl den Brechungsindex wie den Absorptionskoeffizienten des Materials ändern und damit zu einem Beugungsgitter, an dem der primäre Strahl gebeugt wird, führen. Diese Gitter können sowohl bei gepulsten Lasern wie bei cw-Lasern, zu hohen Beugungseffizienzen bei geringen eingestrahlten Laserleistungen im mW Leistungsbereich, z. B. > 30%, führen [Y. Ding, H. J. Eichler, Z. G. Zhang, P. M. Fu, D. Z. Shen, X. Y. Ma, J. Y. Chen: Near-infrared performance of photorefractive nickel-doped KNbO₃ crystals, J. Opt. Soc. Am. B, 13, 2652–2656 (1996)].

Sie werden nachfolgend als Ladungsträgergitter bezeichnet.

Die Fig. 2 soll den Gitteraufbauprozess anhand des photorefraktiven Effektes lediglich beispielhaft erläutern: a) durch Interferenz zweier kohärenter Strahlen wird eine periodische Intensitätsmodulation erzeugt; b) die optische Anregung der Ladungsträger erfolgt inhomogen aus Störstellen in der Bandlücke des Materials, also im transmittierenden Bereich des Mediums; c) die nunmehr frei beweglichen Ladungsträger diffundieren in Bereiche geringer Lichtintensität; d) dadurch ergeben sich ein Feld induziertes Brechungsindexgitter und darüber vermittelt Beugung der primären Strahlung.

Innerhalb eines unidirektionalen Ringresonators führt der Aufbau eines Ladungsträgergitters u. a. zu Intensitätsschwankungen der erzeugten Oberwelle, da mit Aufbau der resonanten Intensitätsüberhöhung der Grundwelle der Effekt anwächst und entsprechend den Prozeß der Intensitätsüberhöhung stört. Durch die quadratische Abhängigkeit zwischen der Grundwellenintensität und der im Kristall erzeugten Oberwelle überträgt sich dieser Effekt verstärkt auf den Konversionsprozeß.

Abhängig von den kristallografischen Parametern des Wirtskristalls und der physikalischen Natur des eingeschriebenen Ladungsträgergitters sind aus der Literatur physikalische Prozesse bekannt, die den Aufbau eines Ladungsträgergitters beeinflussen können. Hierzu zählen u. a. Intensitäts-Temperaturresonanzen, die Veränderung der Leitfähigkeit der Probe oder die Verwendung laufender Gitter. Diese physikalischen Methoden wurden in der Vergangenheit zur Erhöhung der Beugungseffizienz von Ladungsträgergittern eingesetzt, um die beschriebenen Effekte, z. B. für optische Schalter etc., auszunutzen.

Nach dem Stand von Wissenschaft und Technik wurden diese Verfahren bisher ausschließlich zur Ausnutzung des photorefraktiven Effektes verwendet, nicht jedoch, um diesen Effekt zu vermeiden.

Es ist allgemein bekannter Stand der Technik, zur möglichst weitgehenden Vermeidung des Aufbaus von parasitären Ladungsgitterträgern in optisch nichtlinearen Materialien wie optisch nichtlinearen Kristallen, insbesondere aus dem Material BBO, die zur Frequenzkonversion benutzt werden, einen Kristall mit möglichst hoher Reinheit zu verwenden. Dieses Bestreben stößt auf technologische Grenzen und ist zudem kostenintensiv.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zu Grunde, ein gattungsgemäßes Verfahren zur Beeinflussung von parasitären La-



dungsträgergittern, insbesondere des photorefraktiven Effektes, in optisch nichtlinearen Materialien bei deren Verwendung innerhalb von Frequenzkonversionstechniken von Laserstrahlung zu entwickeln, mit dem Schwankungen der Konversionseffizienz vermieden und die Konversionseffizienz an sich optimal erhöht wird.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch die Merkmale des Anspruchs 1 gelöst.

Durch die auf das für die Frequenzkonversion verwendete Material, insbesondere Kristall, ausgeübte optische, thermische, elektrische, thermooptische, thermooptisch-elektrische oder mikromechanische Einwirkung wird das Entstehen des parasitären Ladungsträgergitters im optisch nichtlinearen Material bis hin zu dessen Verhinderung beeinflusst. Dadurch wird eine konstante Effizienz des Konversionsprozesses erreicht, Intensitätsschwankungen werden verhindert. Durch die Unterdrückung des photorefraktiven Effektes (Aufbau von Ladungsträgergittern) wird es ermöglicht, aus einer großen Leistung eines im grünen Bereich emittierenden Lasers durch Konversion mit großer Effizienz eine konstante UV-Laserstrahlung zu erreichen.

Es können für die Frequenzverdopplung bzw. für die Frequenzkonversion zum Beispiel Kristalle von durchschnittlicher Reinheit verwendet werden.

Das erfindungsgemäße Verfahren kann auch auf Frequenzverdopplungstechniken mit Materialsystemen angewendet werden, bei denen ein Einfluß eines Ladungsträgergitters innerhalb eines optisch nichtlinearen Materials, insbesondere eines Kristalls, auf die Konversionseffizienz bisher nicht bekannt war.

Am Beispiel des nichtlinearen Kristalls Bariumborat (BBO) konnte innerhalb einer experimentellen Untersuchung, entgegen der bisherigen wissenschaftlichen Meinung, [F. Laeri, R. Jungen, G. Angelow, U. Vietze, T. Engel, M. Wuerz, D. Hildenberg: Photorefraction in the ultraviolet; materials and effects, Appl. Phys. B, 61, 351-60 (1995)] erstmalig die Photorefraktivität des Kristalles nachgewiesen werden.

Die Fig. 3 zeigt den erstmaligen Nachweis von Photorefraktion in BBO mittels eines cw-532 nm 2 Watt-Lasers bei um >3 Größenordnungen höheren Intensitäten im Vergleich zu den bekannten nichtlinearoptischen Materialien. Als Einsatzpunkt wird eine Verstärkung > 0,1% definiert. Die Figur zeigt, daß das Entstehen des Effektes bei dem untersuchten Kristall BBO bei einer Leistungsdichte von 100 W/cm² und somit mehrere Größenordnungen über dem Einsatzbereich bei bekannten photorefraktiven Materialien liegt [P. Günther, J.-P. Huignard, Photorefractive Materials and Their Applications I, II, Springer, Berlin-Heidelberg-New York, 1988].

Das erfindungsgemäße Verfahren ist insbesondere auch auf die Frequenzverdopplung von Hochleistungslasern anwendbar, bei denen eine hohe Einstrahlleistung der Grundwelle zur Verfügung steht.

Zweckmäßige Ausführungsformen der Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand von mehreren Ausführungsbeispielen näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 die schematische Darstellung eines unidirektionalen Ringresonators,

Fig. 2 die schematische Darstellung des Mechanismus des photorefraktiven Effektes,

Fig. 3 die experimentellen Daten des Nachweises von Photorefraktion in BBO,

Fig. 4 die schematische Darstellung einer ersten Beeinflussung des parasitären Gitters mittels Zusatzlicht,

Fig. 5 die schematische Darstellung der Beeinflussung nach Fig. 4 mit einem speziellen Zusatzlicht,

Fig. 6 die schematische Darstellung einer zweiten Beeinflussung des parasitären Gitters mittels einer Temperaturregelung,

Fig. 7 die schematische Darstellung des Erzeugungsmechanismus von beweglichen Ladungsträgern,

Fig. 8 die schematische Darstellung einer dritten Beeinflussungsart des parasitären Gitters mittels Ladungsträgerinjektion,

Fig. 9 die schematische Darstellung des Erzeugungsmechanismus von beweglichen Ladungsträgern,

Fig. 10 die schematische Darstellung einer vierten Beeinflussungsart des parasitären Gitters mittels eines Feldes und einer Temperaturregelung und Fig. 11 die schematische Darstellung einer fünften Beeinflussungsart des parasitären Gitters mittels einer Bewegung entlang der Laserausbreitungsrichtung.

Die Voraussetzung für die Entstehung der parasitären Ladungsträgergitter ist in einem ersten Teilschritt das Vorhandensein eines Interferenzfeldes der primären Strahlung. Das Interferenzfeld kann durch nur einen Strahl, dessen Streuung im optisch nichtlinearen Material und durch nichtlineare Verstärkung entstehen. Ein Unterbinden des Anwachsens dieser zweiten Strahlquelle, indem die nichtlineare Wechselwirkung im optisch nichtlinearen Material unterdrückt oder minimiert wird, ist für die Anwendung des Verfahrens nach der Erfindung von großer Bedeutung.

In der Fig. 4 ist ein erstes Ausführungsbeispiel der Beeinflussung des parasitären Gitters mittels eines Zusatzlichtes 401, erzeugt durch eine Ansteuerung 402 und eine Strahlquelle 403, gezeigt.

Aufgrund der in der Fig. 2 dargelegten Erzeugung des Ladungsträgergitters über die Erzeugung ortsfester und getrennter Ladungsträger in einem semi-isolierenden Material, ist es eine erste Anwendung dieser Erfindung, mit Hilfe der Zusatzbeleuchtung 401 in räumlicher Nachbarschaft zu einem frequenzverdoppelndem Material 1 (optisch nichtlinearer Kristall) zu setzen, so daß die Leitfähigkeit σ des Materials 1 erhöht wird. Es ist aus der Literatur bekannt, daß das Maximum der Beugungseffizienz durch die Debyeysche Abschirmlänge

$$LD = (4\pi^2 \epsilon k T / e^2 N_{eff})^2$$

gegeben ist. Hierbei ist ϵ die Dielektrizitätskonstante, kT die thermische Energie, e die Elektronenladung und N_{eff} die effektive Störstellendichte. Sinkt diese Länge LD deutlich unter die Gitterperiode Λ , die durch die Wellenlänge der Grundwelle und den Einstrahlwinkel gegeben ist,

$$\Lambda \gg L_D$$

so ist ein Aufbau eines Ladungsträgergitters nicht mehr möglich.

Die Fig. 4 gibt eine technische Realisation des Verfahrens an. Hierbei kann sowohl Zusatzlicht 401 mit einer Photonenenergie oberhalb der Bandkante des Materials 1, wie auch unterhalb der Bandkante des Materials 1 von der Strahlquelle 403 ausgesandt werden.

Eine weitere Realisation des Verfahrens ist durch Fig. 5 dargestellt, wobei ein Teil der Grundwellen- und/oder der frequenzkonvertierten Oberwellenstrahlung über Spiegel 501, 502 und Polarisationsdreher 503 in den Kristall 1 zurückgesandt wird und damit die Leitfähigkeit des Materials 1 erhöht.

Aufgrund der in der Fig. 2 dargelegten Erzeugung des Ladungsträgergitters über die Erzeugung ortsfester und getrennter Ladungsträger in einem semi-isolierenden Material, ist es ein zweites Ausführungsbeispiel des erfindungsgemä-



Ben Verfahrens, die Temperatur des optisch nichtlinearen Kristalls zeitlich zu variieren. Für den aus spontaner Streuung entstehenden zweiten Strahl besteht aufgrund der Variation der Länge des Kristalls damit keine feste Phasenbeziehung zum Ladungsträgergitter, so daß der Aufbau eines solchen effektiv verhindert wird. Die periodische Variation der Temperatur $T(\Delta t)$ muß dabei kleiner als die Aufbauzeit für selbstgepumpte Ladungsträgergitter τ_G in hochhohmigen Materialien liegen:

$$\Delta t < \tau_G$$

Es ist aus der Literatur bekannt, daß die Gitteraufbauzeit für selbstgepumpte Gitter in Materialien mit hoher Bandlücke typisch einige Sekunden bis Minuten betragen [Y. Ding, H. J. Eichler, Z. G. Zhang, P. M. Fu, D. Z. Shen, X. Y. Ma, J. Y. Chen: Near-infrared performance of photorefractive nickel-doped KNbO₃ crystals, J. Opt. Soc. Am. B, 13, 2652-2656 (1996)].

Die Fig. 6 gibt eine technische Realisation des Verfahrens an. Hierbei wird das parasitäre Gitter mittels einer Temperaturregelung, bestehend aus einer Treibereinheit 603, einem Temperatursensor 602, einem Heizelement 601, beeinflusst. Der optisch nichtlineare Kristall 1 wird auf das Heizelement 601, beispielsweise ein Peltierelement 601, montiert und mittels des elektronischen Treibers 603 einem auf das Material 1, hier der optisch nichtlineare Kristall 1, abgestimmten Temperaturzyklus unterworfen.

In Erweiterung der in der Fig. 2 dargelegten Erzeugung des Ladungsträgergitters über die Erzeugung ortsfester und getrennter Ladungsträger in einem semi-isolierenden Material, ist es zusätzlich möglich, daß die Übergänge in die für das Ladungsträgergitter verantwortliche Störstelle sowohl aus dem Leitungsband, wie aus dem Valenzband des optisch nichtlinearen Kristalls erfolgen.

In der Fig. 7 ist der Erzeugungsmechanismus von beweglichen Ladungsträgern beider Polarität schematisch dargestellt. Die Anregung der Übergänge kann sowohl thermisch, wie optisch erfolgen, wobei, abgestimmt auf das Materialsystem, gleiche Übergangsraten für beide Ladungsträgerarten realisiert werden können. Aufgrund der Tatsache, daß nunmehr beide Ladungsträgerarten beweglich sind, wird der Aufbau eines Ladungsträgergitters verhindert.

Aufgrund der in der Fig. 2 dargelegten Erzeugung des Ladungsträgergitters über die Erzeugung ortsfester und getrennter Ladungsträger in einem semi-isolierenden Material ist es möglich, durch einen Stromfluß senkrecht zu dem durch das Interferenzfeld gegebenen Diffusionsgradienten für die beweglichen Ladungsträger, Ladungsträger in genügender Anzahl und beider Polarität nachzuliefern, so daß der Aufbau eines Ladungsträgergitters effizient verhindert wird.

Die Fig. 8 zeigt die Beeinflussung des parasitären Gitters mittels Ladungsträgerinjektion, hervorgerufen durch eine elektrische Spannung U, die über Kontakte 801 an das nichtlineare Material 1 herangeführt wird.

In Erweiterung der in der Fig. 7 dargestellten Erzeugung beweglicher Ladungsträger, in der Übergänge in die für das Ladungsträgergitter verantwortliche Störstelle sowohl aus dem Leitungsband, wie aus dem Valenzband des optisch nichtlinearen Kristalls dargestellt sind, kann zusätzlich ein elektrisches Feld parallel zu dem durch das Interferenzfeld gegebenen Diffusionsgradienten für die beweglichen Ladungsträger angelegt werden.

In der Fig. 9 ist diese Erzeugungsart von beweglichen Ladungsträgern beider Polarität bei gleichzeitig angelegtem elektrischem Feld dargestellt. Es erfolgt eine optische und eine thermische Anregung.

Hierdurch ist es möglich, durch Variation der Temperatur,

der Intensität des Laserlichts und der Feldintensität eine Phasenverschiebung von $0, \pi, 2\pi$, etc., bzw. $0, \lambda, 2\lambda$, einzustellen, so daß auch bei Vorhandensein eines initialen Ladungsträgergitters, aufgrund der ungünstigen Phasenverschiebung zum Lichtinterferenzfeld dies nicht zur Beugung und damit zum selbstgepumpten Aufbau eines Beugungsgitters hoher Effizienz führt.

Eine Anwendung dieses Verfahrens ist in der Fig. 10 dargestellt. Die Fig. 10 zeigt die Beeinflussung des parasitären Gitters mittels eines Feldes, hervorgerufen durch eine elektrische Spannung U, die über die transparenten oder durchbohrten Kontakte 101 im nichtlinearen Material 1 abfällt, bei gleichzeitiger Temperaturregelung über das Heizelement 601, den Temperatursensor 602 und die Treibereinheit 603.

Aufgrund der in der Fig. 2 dargelegten Erzeugung des Ladungsträgergitters über die Erzeugung ortsfester und getrennter Ladungsträger in einem semi-isolierenden Material, ist es eine Anwendung dieser Erfindung, das entstehende Ladungsträgergitter relativ zum auftretenden Interferenzfeld des Lichtes zeitlich zyklisch mikromechanisch zu verschieben, so daß der Aufbau eines Gitters mit hoher Beugungseffizienz effektiv verhindert wird. Wie bereits im Ausführungsbeispiel nach Fig. 6 beschrieben, sind die dabei erforderlichen Zeitkonstanten vergleichbar mit den typischen Aufbauzeiten von Ladungsträgergittern.

Die Fig. 11 stellt eine Realisierung dieses Verfahrens dar. In der Fig. 11 ist die Beeinflussung des parasitären Gitters mittels einer Bewegung entlang der Laserausbreitungsrichtung gezeigt. Es werden dazu ein Steuergerät 111, ein elektromechanischer Wandler 112 und eine Halterung 113 des optisch nichtlinearen Materials 1 verwendet.

Die Erfindung ist nicht auf die hier beschriebenen Ausführungsbeispiele beschränkt. Vielmehr ist es möglich, durch Kombination der Merkmale weitere Ausführungsbeispiele zu realisieren, ohne den Rahmen der Erfindung zu verlassen.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Beeinflussung eines parasitären Ladungsträgergitters in optisch nichtlinearen Materialien bei der Frequenzkonversion, insbesondere bei der Frequenzverdopplung von Laserstrahlung, **dadurch gekennzeichnet**, daß auf das Material während der Konversion optisch oder thermisch oder elektrisch oder thermooptisch oder thermooptisch-elektrisch oder mikromechanisch eingewirkt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Aufbau eines Ladungsträgergitters innerhalb eines optisch nichtlinearen Materials während der Frequenzkonversion mit Hilfe einer Zusatzbeleuchtung in räumlicher Nachbarschaft zum Material dahingehend beeinflusst wird, daß die Effizienz der Erzeugung einer optischen Oberwelle im Material aus einer in das Material eingestrahlten Grundwelle optimiert wird und Intensitätsschwankungen verhindert werden.
3. Verfahren nach Anspruch 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß als Zusatzbeleuchtung die resonatorinterne Laserstrahlung, insbesondere die Oberwellenstrahlung verwendet wird.
4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Aufbau eines Ladungsträgergitters innerhalb eines optisch nichtlinearen Materials während der Frequenzkonversion mit Hilfe einer zeitlich variierenden Temperatur dahingehend beeinflusst wird, daß die Effizienz der Erzeugung einer optischen Oberwelle im Material aus einer in das Material eingestrahlten



Grundwelle optimiert wird und Intensitätsschwankungen verhindert werden.

5. Verfahren nach Anspruch 1 und 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Aufbau eines Ladungsträgergitters innerhalb eines optisch nichtlinearen Materials während der Frequenzkonversion mit Hilfe einer zeitlich konstanten Temperatur dahingehend beeinflusst wird, daß die Effizienz der Erzeugung einer optischen Oberwelle im Material aus einer in das Material eingestrahlten Grundwelle optimiert wird und Intensitätsschwankungen verhindert werden.

6. Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Aufbau eines Ladungsträgergitters innerhalb eines optisch nichtlinearen Materials während der Frequenzkonversion mit Hilfe einer geeigneten Temperatur sowie einer in räumlicher Nachbarschaft befindlichen Zusatzbeleuchtung dahingehend beeinflusst wird, daß die Effizienz der Erzeugung einer optischen Oberwelle im Material aus einer in das Material eingestrahlten Grundwelle optimiert wird und Intensitätsschwankungen verhindert werden.

7. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Aufbau eines Ladungsträgergitters innerhalb eines optisch nichtlinearen Materials während der Frequenzkonversion mit Hilfe eines durch eine an das Material angelegte elektrische Spannung induzierten Stromflusses senkrecht zu dem Diffusionsgradienten der beweglichen Ladungsträger dahingehend beeinflusst wird, daß die Effizienz der Erzeugung einer optischen Oberwelle im Material aus einer in das Material eingestrahlten Grundwelle optimiert wird und Intensitätsschwankungen verhindert werden.

8. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Aufbau eines Ladungsträgergitters innerhalb eines optisch nichtlinearen Materials während der Frequenzkonversion mit Hilfe eines an das Material angelegten elektrischen Feldes parallel zum Diffusionsgradienten der beweglichen Ladungsträger dahingehend beeinflusst wird, daß die Effizienz der Erzeugung einer optischen Oberwelle im Material aus einer in das Material eingestrahlten Grundwelle optimiert wird und Intensitätsschwankungen verhindert werden.

9. Verfahren nach den Ansprüchen 1, 4, 5 und 8, dadurch gekennzeichnet, daß der Aufbau eines Ladungsträgergitters innerhalb eines optisch nichtlinearen Materials während der Frequenzkonversion mit Hilfe eines an das Material angelegten elektrischen Feldes parallel zum Diffusionsgradienten der beweglichen Ladungsträger sowie einer geeigneten Temperatur dahingehend beeinflusst wird, daß die Effizienz der Erzeugung einer optischen Oberwelle im Material aus einer in das Material eingestrahlten Grundwelle optimiert wird und Intensitätsschwankungen verhindert werden.

10. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Aufbau eines Ladungsträgergitters innerhalb eines optisch nichtlinearen Materials während der Frequenzkonversion mit Hilfe einer zyklischen mikro-mechanischen Verschiebung des Materials relativ zur eingestrahlten Grundwelle dahingehend beeinflusst wird, daß die Effizienz der Erzeugung einer optischen Oberwelle im Material aus einer in das Material eingestrahlten Grundwelle optimiert wird und Intensitätsschwankungen verhindert werden.

11. Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Frequenzkonversion einer kohärenten kontinuierlichen Laserstrahlung innerhalb eines unidirektionalen passiven Ringresonators durchgeführt wird.

12. Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Frequenzkonversion einer kohärenten kontinuierlichen Laserstrahlung innerhalb eines Laserresonators durchgeführt wird.

13. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß für die Erzeugung von Laserstrahlung im ultravioletten Spektralbereich als optisch nichtlineare Materialien Kristalle wie BBO (b-BaB₂O₄), LBO (LiB₃O₅), CLBO (CsLiB₆O₁₀) eingesetzt werden.

Hierzu 7 Seite(n) Zeichnungen



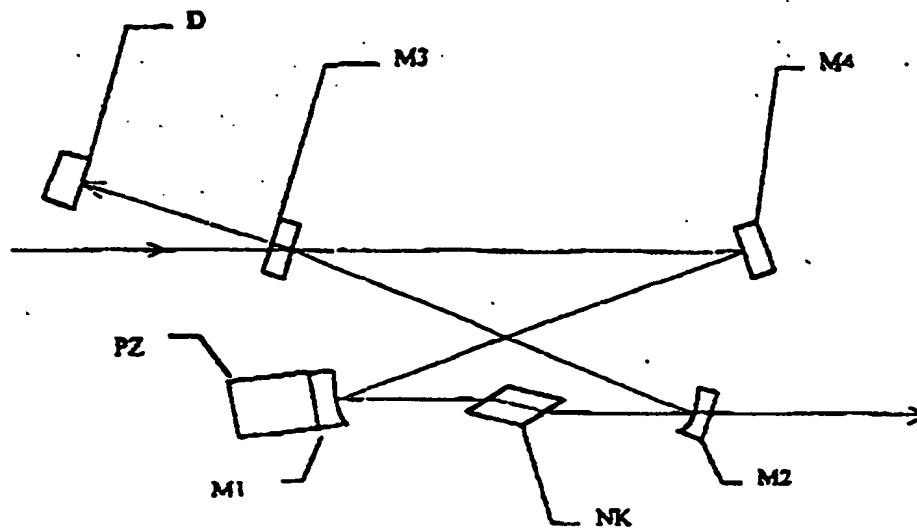


Fig. 1

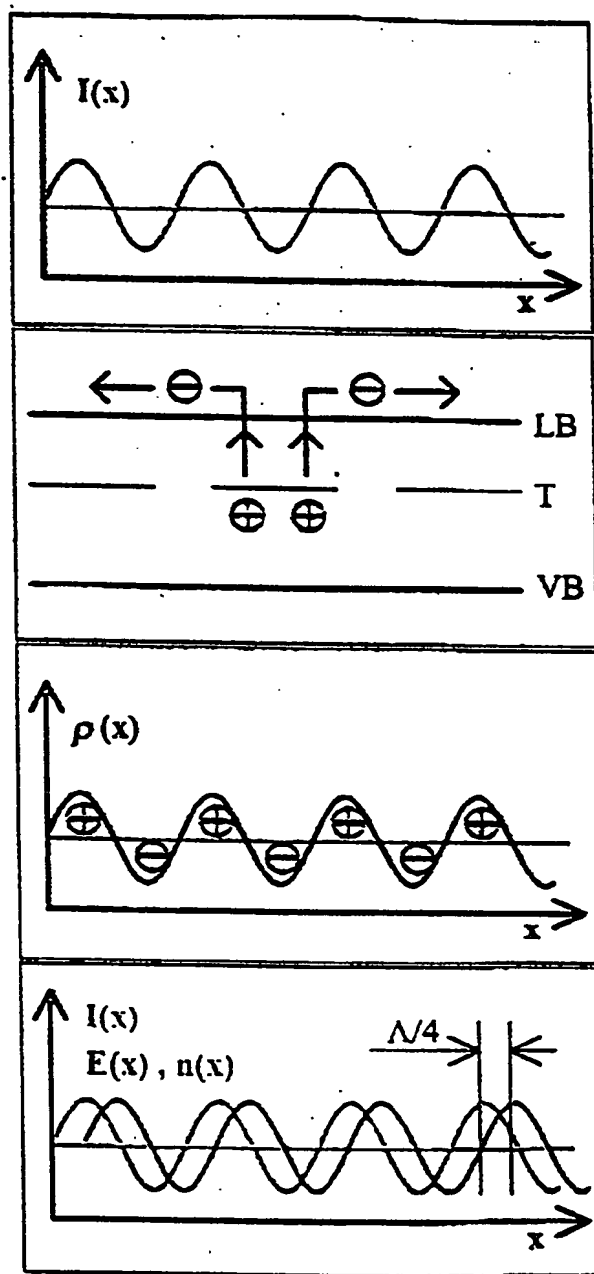


Fig. 2

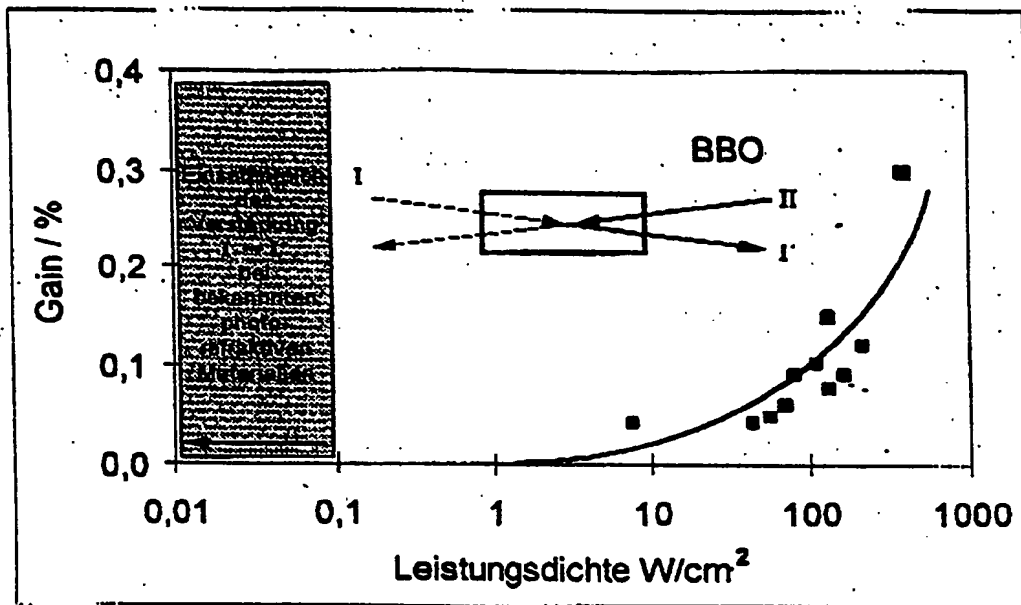


Fig. 3

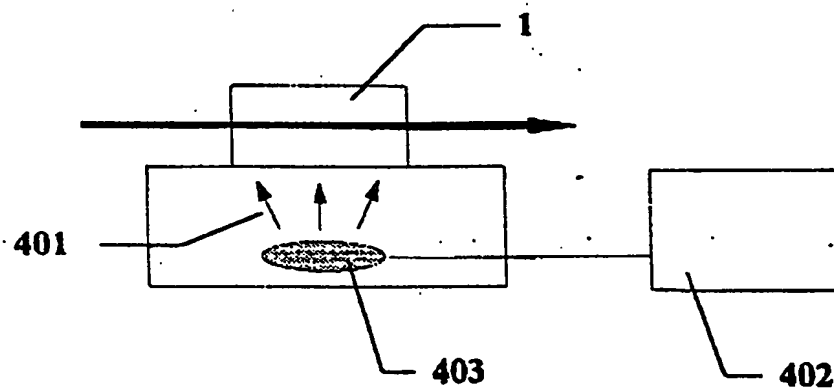


Fig. 4

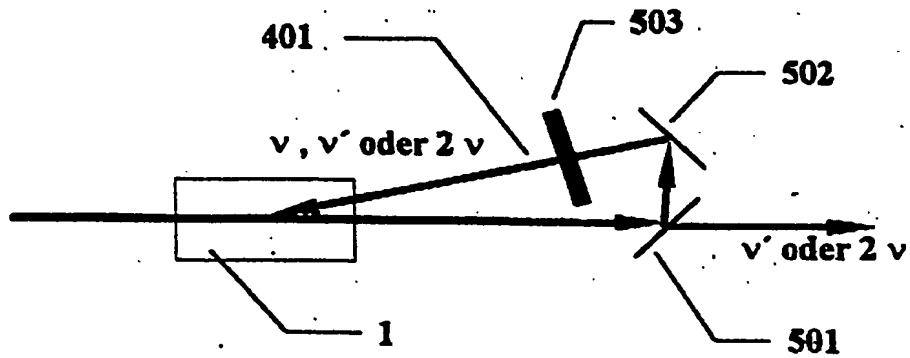


Fig. 5

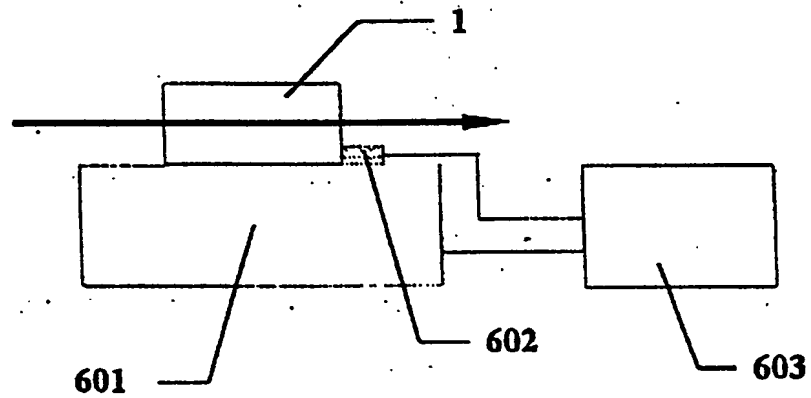


Fig. 6

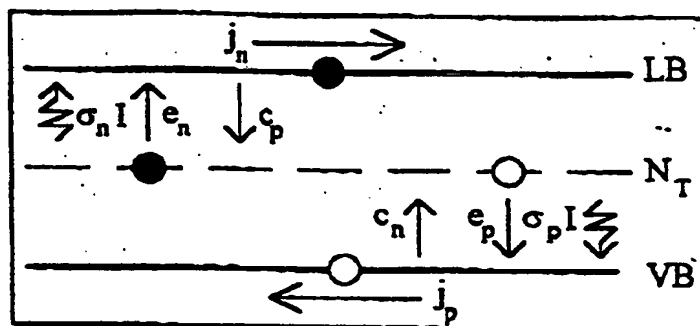


Fig. 7

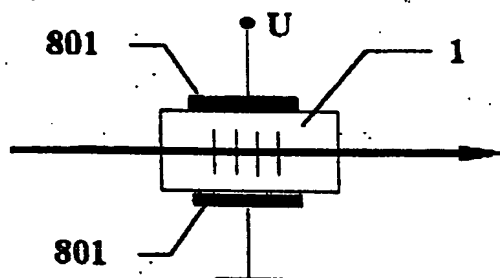


Fig. 8

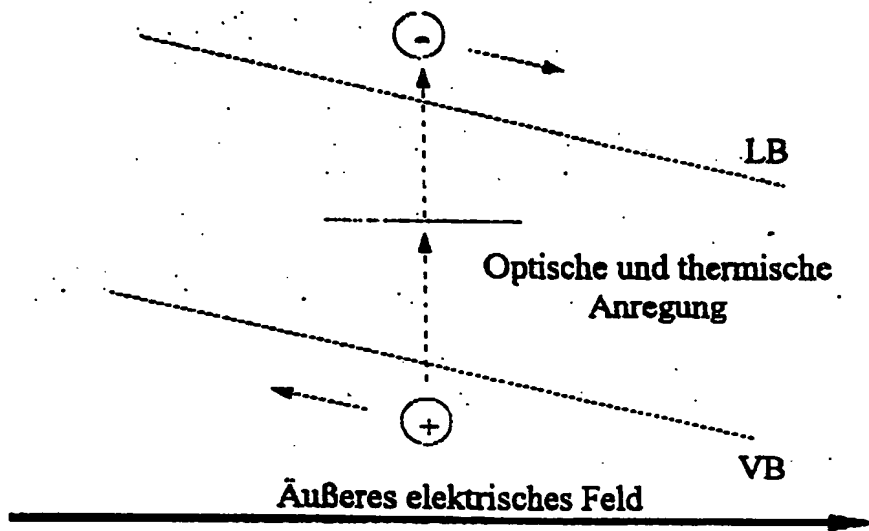


Fig. 9

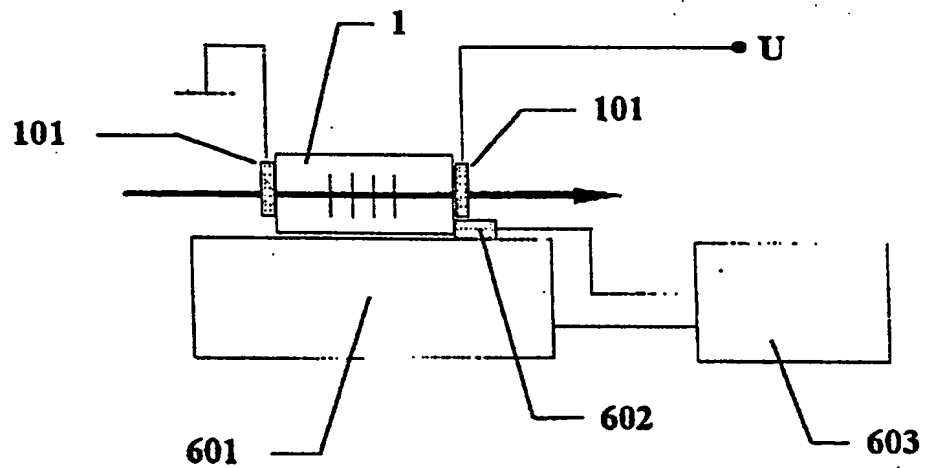


Fig. 10

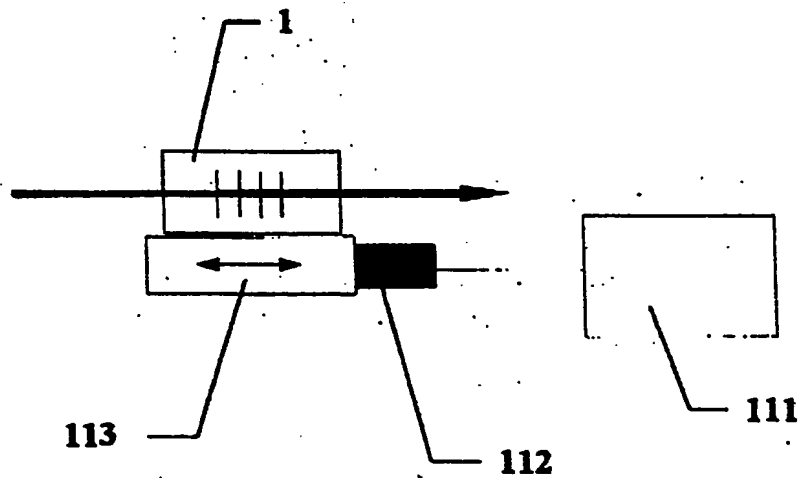


Fig. 11

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ **BLACK BORDERS**
- ☒ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☒ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.